Über den physikalischen Nachweis von mitogenetischen Strahlen

---

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

einer Hohen Naturwissenschaftlichen Fakultät

der

Eberhard-Karls-Universität zu Tübingen

vorgelegt von

Franz Seyfert

aus Merseburg a. d. S.

Mit 7 Textfiguren.

Leipzig

Verlag von Gebrüder Borntraeger

1932

Über den physikalischen Nachweis von mitogenetischen Strahlen

---

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

einer Hohen Naturwissenschaftlichen Fakultät

der

Eberhard-Karls-Universität zu Tübingen

vorgelegt von

Franz Seyfert

aus Merseburg a. d. S.

Mit 7 Textfiguren.

Leipzig

Verlag von Gebrüder Borntraeger

1932

Dekan: Prof. Dr. F. Machatschki,
Referent: Prof. Dr. H. Geiger.

Tag der mündlichen Prüfung: 12. Mai 1932.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Einleitung.

Im Jahre 1923 veröffentlichte der russische Zellforscher Gurwitsch[1]) eine Arbeit, aus der sich zu ergeben schien, daß von wachsenden Geweben eine Fernwirkung ausgeht, die alle Eigenschaften einer kurzwelligen Lichtstrahlung aufweist. Insbesondere wurde im Laufe der Zeit gezeigt, daß diese sog. „mitogenetischen Strahlen" sich geradlinig ausbreiten und die Erscheinungen der Reflexion, Brechung und Absorption aufweisen. Der Nachweis der Strahlen geschah auf biologischem Wege. Fig. 1 zeigt den Gurwitschschen Grundversuch. Gegenüber einer in einem 2—3 mm weiten Glasrohr eingeschlossenen Zwiebelwurzel *A* befand sich eine zweite, ebenfalls in ein Glasrohr eingeschlossene Zwiebelwurzel *B*. Die Zwiebelwurzel *A*, von deren Spitze die sogenannten mitogenetischen Strahlen ausgehen sollen, diente als Sender, während die Wurzelspitze *B* den Detektor zum Nachweis der Strahlen bildete. Zu diesem Zweck war das Glasrohr *B* an der Stelle *O* unterbrochen, so daß dort die mitogenetischen Strahlen frei auf die Wurzel *B* auffallen konnten. Nach einer Exposition von etwa 3 Stunden wurde

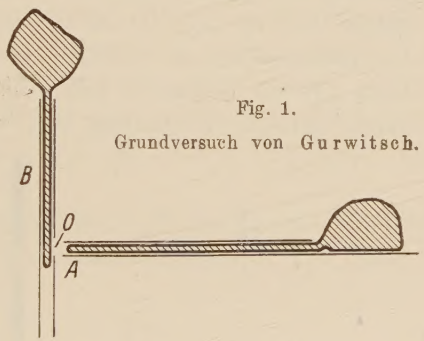

Fig. 1.
Grundversuch von Gurwitsch.

1) A. Gurwitsch, Archiv f. mikroskop. Anatomie und Entwicklungsmechanik, **100**, 11, 1923.

die Detektorwurzel *B* in Schnitte zerlegt und mikroskopisch untersucht. Dabei zeigte sich immer das Resultat, daß auf der der Sendewurzel zugewandten Seite mehr Zellteilungen (Mitosen) aufgetreten waren als auf der abgewandten Seite, wie das schematisch etwa durch Fig. 2 dargestellt werden könnte. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Stempell[1]), Reiter und Gábor[2]), Loos[3]) u. a. Im Laufe der Zeit zeigte sich, daß außer der Zwiebelwurzelspitze auch noch andere Quellen für mitogenetische Strahlen vorhanden sind, z. B. Zwiebelsohlenbrei, Kaulquappenbrei, Embryonen verschiedener Tiere, Karzinome, Tumore u. a.

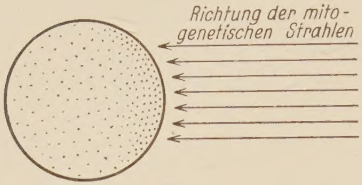

Fig. 2.

Schema eines Querschnittes durch eine bestrahlte Wurzel. Die Punkte stellen die Mitosen dar.

Abschnitt I.

Geradlinige Ausbreitung, Reflexion, Brechung und Absorption der mitogenetischen Strahlen.

Die geradlinige Ausbreitung der mitogenetischen Strahlen glauben Reiter und Gábor[4]) durch folgende Versuche erwiesen zu haben (Fig. 3). Als Strahlenquelle diente der Zwiebelsohlenbrei *A*. Die mitogenetischen Strahlen durchsetzten zwei Spalte und fielen dann auf die Wurzel *B* auf. Die Auftreffstelle hatte man vorher durch optische Justierung mit einer Glühlampe festgestellt und

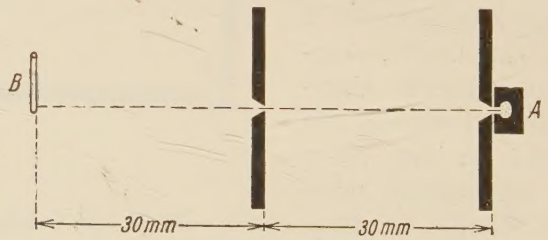

Fig. 3.

Geradlinige Ausbreitung der mitogenetischen Strahlen (nach Reiter und Gábor).

1) W. Stempell, z. B. Protoplasma, **12**, 538, 1931; dort auch die frühere Literatur.
2) T. Reiter und D. Gábor, Zellteilung und Strahlung, Berlin 1928.
3) W. Loos, Jahrb. f. wiss. Bot., **72**, 611, 1930.
4) T. Reiter und D. Gábor, a. a. O.

markiert. In der Tat ergab die mikroskopische Untersuchung auf Mitosen ein positives Ergebnis, und zwar auch dann, wenn die Zwiebelwurzel *B* in ein Quarzröhrchen eingeschlossen war. Nach diesen Versuchen sind also die mitogenetischen Strahlen imstande, dünne Quarzschichten zu durchsetzen. Auch schließt dies die Deutungsmöglichkeit aus, daß die biologischen Effekte etwa durch eine unmittelbare chemische Einwirkung des Zwiebelsohlenbreies auf die Detektorwurzel entstanden sein könnten.

In einem anderen Versuch spannten Reiter und Gábor einen Draht von 0,65 mm Durchmesser vor die Detektorwurzel und stellten nach Ablauf von 90 Minuten zu beiden Seiten des Drahtes eine Mitosenerhöhung fest, nicht aber im Schattenbereich.

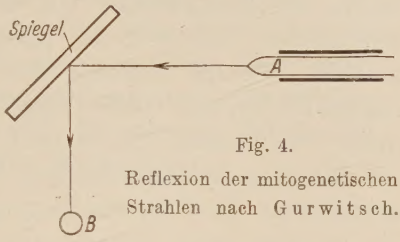

Fig. 4.
Reflexion der mitogenetischen Strahlen nach Gurwitsch.

Reflexionsversuche wurden von Gurwitsch[1]) und seinem Mitarbeiter Rawin in verschiedener Weise ausgeführt. Am stärksten beweiskräftig erscheint ihnen der in Fig. 4 dargestellte Versuch, der unmittelbar verständlich ist. Die von der Spitze der Wurzel *A* ausgehenden Strahlen werden an dem „Planspiegel eines guten Mikroskops" reflektiert und mit der im Querschnitt dargestellten Detektorwurzel *B* nachgewiesen. Über den naheliegenden Kontrollversuch, den Spiegel zu drehen oder wegzunehmen, ist nicht berichtet worden. Reiter und Gábor glauben sogar gezeigt zu haben, daß man die Reflexion der mitogenetischen Strahlen an der Vorder- und Rückseite einer 1,5 mm dicken Glasplatte biologisch nachweisen kann.

Als Beispiel für die Brechung der mitogenetischen Strahlen sei der in Fig. 5 dargestellte Versuch[2]) wiedergegeben. Der Spalt *S*

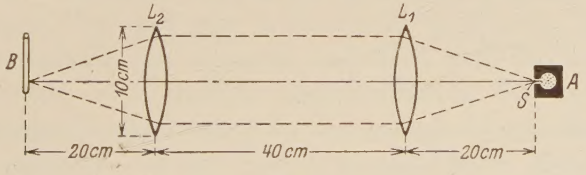

Fig. 5.
Brechung der mitogenetischen Strahlen nach Reiter und Gábor.

1) A. Gurwitsch, Das Problem der Zellteilung, Berlin 1926; s. auch A. Gurwitsch, Archiv f. mikr. Anat. u. Entw.-Mech., **103**, 490, 1924.

2) T. Reiter u. D. Gábor, a. a. O.

wurde mit Hilfe der beiden Quarzlinsen L_1 und L_2 auf die Zwiebelwurzel B durch die von dem Zwiebelsohlenbrei A ausgehenden mitogenetischen Strahlen abgebildet. Der Abstand $S—B$ betrug 80 cm[1]). Nach 60 Minuten Belichtungsdauer wurde Mitosenerhöhung festgestellt. Über weitere Brechungsversuche berichten Reiter und Gábor in ihrem Buche „Zellteilung und Strahlung".

Die Versuchsergebnisse der einzelnen Forscher über Absorption der mitogenetischen Strahlen gehen ebenfalls sehr auseinander. Was die Absorption in Glas anbelangt, so haben Reiter und Gábor[2]) eine merkliche Schwächung erst in 5 mm Glas bemerken können. Gurwitsch und Rawin[3]) fanden dagegen, daß bereits ein Deckgläschen von ca. 0,1 mm Dicke genügte, um den biologischen Nachweis der mitogenetischen Strahlen unsicher zu machen. Was die Versuche über Absorption in Gelatine betrifft, so fanden Reiter und Gábor Durchlässigkeit noch bei einer Häutchendicke von 0,2 mm; Gurwitsch[3]) dagegen stellte fest, daß schon die dünnsten Gelatineschichten die mitogenetischen Strahlen völlig absorbieren. In Übereinstimmung fanden alle Autoren, daß Quarz für mitogenetische Strahlen gut durchlässig ist.

Abschnitt II.

Wellenlänge und Intensität der mitogenetischen Strahlen.

Wie im vorigen Abschnitt berichtet, gehen die Ansichten der verschiedenen biologischen Forscher über das physikalische Verhalten der mitogenetischen Strahlen sehr weit auseinander, so daß die Resultate manchmal schwer miteinander in Einklang zu bringen sind. Es ist daher nicht weiter verwunderlich, daß die Zahlenangaben über die Wellenlänge der mitogenetischen Strahlen sich fast über den ganzen Bereich des in Luft meßbaren ultravioletten Spektrums erstrecken. Gurwitsch und Rawin[3]) schlossen aus ihren Versuchen über Reflexion, Beugung und Absorption auf eine Wellenlänge der mitogenetischen Strahlen von 1900—2000 ÅE. Die Tatsache jedoch, daß nach Reiter und Gábor[2]) erst 5 mm Glas eine merkliche Absorption der mitogenetischen Strahlen bewirken,

1) Vgl. den Widerspruch mit Gurwitsch, 1926, a. a. O., S. 68.

2) T. Reiter und D. Gábor, a. a. O.

3) A. Gurwitsch, Das Problem der Zellteilung, Berlin 1926; s. auch G. Frank, Biol. Zentralblatt, **49**, 129, 1929.

läßt eine Wellenlänge von etwa 3300 ÅE noch zu. Zu anderen Zahlen kam man, indem man ultraviolettes Licht auf Zwiebelwurzeln oder Hefekulturen auffallen ließ. Es wurde festgestellt, bei welcher Wellenlänge sich die stärkste Mitosenzunahme zeigte, und diese Wellenlänge dann als die der mitogenetischen Strahlen angesprochen. Auf Grund solcher Versuche gaben Reiter und Gábor[1]) 3340—3400 ÅE an. Frank[2]) fand, daß die Wellenlänge zwischen 2000 und 2400 ÅE liegt. Endlich stellten Chariton, Frank und Kannegießer[3]) eine Wellenlänge zwischen 2000 und 2606 ÅE fest. Die letzten Autoren erklären ausdrücklich, daß sie mit der von Reiter und Gábor[1]) angegebenen Wellenlänge von 3340—3400 ÅE keinen positiven Effekt bekommen konnten. Bemerkenswert ist noch, daß Reiter und Gábor[1]) die mitogenetischen Strahlen selbst spektral zerlegten und hieraus auf eine Wellenlänge von 3370 ÅE schlossen. Frank[2]) kommt dagegen mit der gleichen Methode zu den Werten 2000—2400 ÅE. Die folgende Tabelle gibt eine Zusammenstellung der ermittelten Wellenlängen.

Tabelle 1.

Zusammenstellung der für die mitogenetischen Strahlen gefundenen Wellenlängen.

Autor	Wellenlänge in ÅE	Meßmethode
Gurwitsch und Rawin . . .	1900—2000	Absorption in Glas und Gelatine.
Frank	2000—2400	Vergleich der biologischen Wirksamkeit mit der von spektral zerlegtem künstlichen Licht.
Chariton, Frank und Kannegießer	2000—2606	
Frank	2000—2400	Spektralanalyse.
Reiter und Gábor	3370	
Reiter und Gábor . . .	3340—3400	Vergleich der biologischen Wirksamkeit mit der von spektral zerlegtem künstlichen Licht.
Reiter und Gábor	ab 3300 aufwärts	Absorption in 5 mm Glas.

Zur Bestimmung der Intensität der mitogenetischen Strahlung sind von Chariton, Frank und Kannegießer[3]) Versuche in

1) T. Reiter und D. Gábor, a. a. O.

2) G. Frank, Biol. Zentralblatt, **49**, 129, 1929.

3) J. Chariton, G. Frank und N. Kannegießer, Naturwissenschaften, **18**, 411, 1930.

folgender Weise unternommen worden. Sie bestrahlten Hefekulturen, die für mitogenetische Strahlen sehr empfindlich sind, mit ultraviolettem Licht verschiedener Intensität bei 2000—2600 ÅE. Dieser Wellenlängenbereich galt als das Gebiet der mitogenetischen Strahlen. Als Intensität wurde diejenige Energie des ultravioletten Lichtes definiert, die denselben Effekt bei gleicher Bestrahlungsdauer auslöste wie die mitogenetische Strahlung. Die Autoren kommen bei einer Expositionszeit von 10 Minuten zu $4 \cdot 10^8$ Quanten cm^{-2}, d. h. zu $7 \cdot 10^5$ Quanten $cm^{-2}\,sec^{-1}$. Dieser Wert konnte jedoch weder durch Rajewsky[1]) noch durch Frank und Rodionow[2]) bestätigt werden. Aus den letztgenannten Arbeiten schließt Gurwitsch[3]) auf eine Intensität von 1000 Quanten $cm^{-2}\,sec^{-1}$. Wie ersichtlich, schwanken also die Intensitätsangaben um mehrere Zehnerpotenzen.

Betrachtet man die in diesem und dem vorausgehenden Abschnitt mitgeteilten Versuche in ihrer Gesamtheit, so gewinnt man den Eindruck, daß mit mitogenetischen Strahlen zahlreiche elementare optische Versuche ausgeführt werden könnten. Gegen die Beweiskraft dieser Versuche müssen jedoch Bedenken erhoben werden. Häufig fehlen die naheliegenden Null- bezw. Blindversuche, durch die das Ausbleiben des Effektes bei abgeschalteter Strahlung dargelegt wird. Vor allem überrascht aber, daß die mitogenetischen Strahlen in verhältnismäßig kurzer Zeit auch dann noch nachgewiesen werden können, wenn sie in feine Strahlenbündel aufgeteilt, bezw. spektral zerlegt worden sind. Wenn die biologischen Methoden wirklich so extrem empfindlich sind, wie diese Versuche vermuten lassen, so möchte man annehmen, daß auch der physikalische Nachweis der Ultraviolettstrahlung wenigstens in unmittelbarer Nähe des Präparates auf keine Schwierigkeiten stößt.

Abschnitt III.

Allgemeine Bemerkungen über das Geiger-Müller-Zählrohr.

Rajewsky[1]) hat die mitogenetischen Strahlen mit Hilfe des Geiger-Müller-Zählrohres[4]) untersucht. Da auch in der vor-

1) B. Rajewsky, Zehn Jahre Forschung auf dem physikalisch-medizinischen Grenzgebiet. Leipzig 1930. B. Rajewsky, Physikal. Zeitschr., **32**, 121, 1931.

2) G. Frank und S. Rodionow, Naturwissenschaften, **19**, 659, 1931.

3) A. Gurwitsch, Die mitogenetische Strahlung, Berlin 1932.

4) H. Geiger und W. Müller, Physikal. Zeitschr., **29**, 839, 1928.

liegenden Arbeit ein Zählrohr benutzt wurde, seien einige Bemerkungen technischer Art vorausgeschickt.

Das Zählrohr besteht aus einem Messingrohr R (Fig. 6), das an beiden Seiten durch Hartgummistopfen H abgeschlossen ist. Genau zentriert befindet sich darin ein dünner Stahldraht D, der mit einer feinen halbisolierenden Oxydhaut überzogen ist. An die Rohrwand R wird der negative Pol einer Hochspannungsbatterie B gelegt, deren positiver Pol geerdet ist. Der Zähldraht D ist mit einem Fadenelektrometer E verbunden und gleichzeitig über einen hohen Widerstand W von der Größenordnung 10^9 Ohm zur Erde abgeleitet. Wenn in dem Zählrohr durch die Strahlen einer radioaktiven Substanz oder durch Licht ein Elektron ausgelöst wird, so

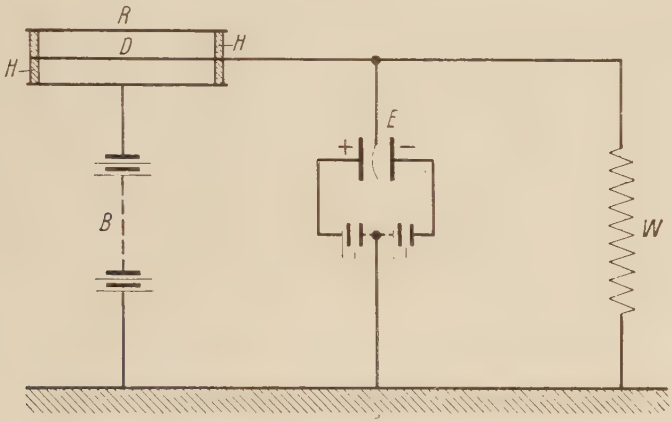

Fig. 6. Schaltung eines Geiger-Müller-Zählrohres.

wird dieses in das starke Feld am Draht gerissen und ruft dort durch Stoßionisation eine so starke ionisierende Wirkung hervor, daß die so entstandene elektrische Ladung durch einen stoßartigen Ausschlag des Elektrometers bemerkbar wird. Diese Ladung fließt in kurzer Zeit über den Ableitwiderstand zur Erde ab, so daß das Instrument auf ein zweites, nachfolgendes Strahlenteilchen reagieren kann. Da das Zählrohr dauernd von den kosmischen Ultrastrahlen sowie von Strahlen der überall vorhandenen radioaktiven Substanzen durchsetzt wird, zeigt es auch ohne Einstrahlung von Licht oder Heranbringen eines radioaktiven Präparates Ausschläge, deren Zahl im wesentlichen durch die Größe des Zählrohres bestimmt ist. In dem später benutzten Zählrohr von 68 mm Länge und 30 mm

Durchmesser waren es im Mittel 68 Ausschläge in der Minute, die von dieser Reststrahlung herrührten. Umgibt man das Zählrohr mit einem starken Eisenpanzer, so kann man die erwähnte radioaktive und kosmische Strahlung z. T. abschirmen. Bei meinen Versuchen setzte z. B. ein 12 cm dicker, allseitiger Eisenpanzer diesen „natürlichen Effekt" von im Mittel 68 Ausschlägen pro Minute auf im Mittel 30 Ausschläge pro Minute herab. Zu bemerken ist, daß im hiesigen Institut sehr viel mit radioaktiven Präparaten gearbeitet wird und hierdurch vielfach Störungen entstehen. Es wurden aber im folgenden nur Meßreihen verwertet, bei denen der natürliche Effekt während der Versuchsdauer konstant blieb.

Abschnitt IV.

Der Einfluß der Statistik auf die erreichbare Meßgenauigkeit.

Jedem, der erstmalig Messungen mit einem Zählrohr macht, fällt auf, wie außerordentlich unregelmäßig die Ausschläge zeitlich verteilt sind, auch dann, wenn die radioaktive Strahlenquelle an sich als konstant anzusprechen ist. Dies hat seinen Grund darin, daß man es bei einer solchen Strahlenquelle mit Einzelprozessen zu tun hat, die unabhängig voneinander nach den Gesetzen der Statistik verteilt sind. Diese statistischen Schwankungen machen es also nötig, auch dann relativ lange Zählreihen auszuführen, wenn man, wie gesagt, eine an sich konstante Strahlungsintensität genau festlegen will. Eine einfache mathematische Formel sagt aus, daß die mittlere statistische Schwankung einer Ausschlagszahl N durch $\pm \sqrt{N}$ gegeben ist. Drückt man diese Schwankung in Prozenten von N aus, so nennt man sie auch den mittleren statistischen Fehler von N. Je größer die gemessene Teilchenzahl ist, desto kleiner wird der mittlere statistische Fehler. Er ist nur abhängig von der Gesamtzahl der beobachteten Teilchen, nicht aber von der Teilchenzahl pro Minute. Z. B. beträgt er bei 100 beobachteten Ausschlägen 10 %, bei 1000 3 % und bei 10000 1 %.

Abschnitt V.

Konstruktion des lichtelektrisch empfindlichen Zählrohres.

Während Rajewsky ein Stück der Wandung des Zählrohres durch eine Quarzplatte ersetzte, um den mitogenetischen Strahlen Zutritt in das Zählrohrinnere zu verschaffen, wurde im vorliegenden

Fall das Eintrittsfenster, das ebenfalls aus Quarz bestand, an das Ende des Rohres verlegt und an Stelle eines Hartgummistopfens gesetzt (Fig. 7). Der Zähldraht ging kurz vor dem Fenster in einen 1 mm starken Kupferdraht über, der seitlich durch einen Hartgummistopfen geeigneter Dicke gehalten wurde. Der Druck im Zählrohr betrug 8—9 cm Hg. Die Zählspannung konnte von etwa 1600 Volt auf 1650 Volt erhöht werden, ohne daß sich die von dem natürlichen Effekt herrührende Teilchenzahl geändert hätte. Als lichtelektrisch empfindliche Substanz wurden verschiedene Stoffe benutzt, z. B. Zinkamalgam, Aluminium, Magnesium. Um einer Oxydation der lichtelektrischen Schicht und damit einer Veränderung der lichtelektrischen Empfindlichkeit (Verschiebung der langwelligen Grenze)[1]) vorzubeugen, wurde als Füllgas Wasserstoff

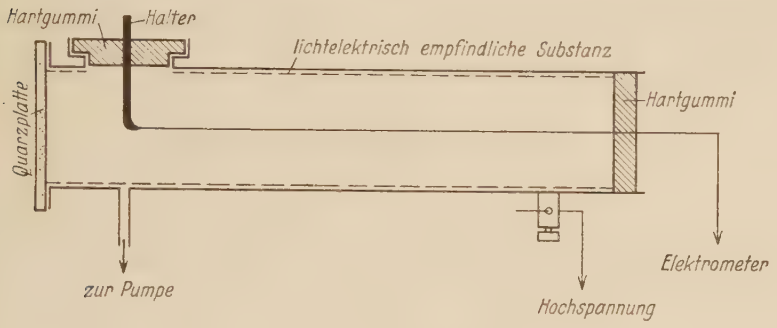

Fig. 7. Das lichtelektrisch empfindliche Zählrohr.

benutzt, der sorgfältig gereinigt und getrocknet war. Die Empfindlichkeit wurde auf Konstanz geprüft. Es wurde dazu ein selbst angefertigter Lichtstandard verwandt, der die geringe Ultraviolettemission eines schwach geheizten Glühlämpchens benutzte. Das Zählrohr selbst war lichtdicht in einen Kasten eingebaut. Die Tabelle 2 (S. 756) zeigt, daß innerhalb der Beobachtungsdauer von 10 Tagen die Teilchenzahl pro Minute bei einer Zähldauer von 5—15 Minuten innerhalb der Fehlergrenzen konstant blieb, daß also die Empfindlichkeit des Zählrohres nicht abnahm. Mit Amalgamen von höherem Alter als 9 Tagen wurde nicht gearbeitet.

1) B. Gudden, Lichtelektrische Erscheinungen, Berlin 1928, S. 37ff. H. Bauer, Zeitschr. f. Phys., **71**, 532, Fig. 5—6, 1931.

Tabelle 2.

Prüfung eines mit Zinkamalgam belegten Zählrohres auf Konstanz seiner Empfindlichkeit.

Die Zahlen bedeuten Ausschlagzahlen pro Minute.

	Alter der Schicht in Stunden						
	3	9	24	30	48	72	240
Natürlicher Effekt	46,2	49,0	46,0	49,0	48,4	47,6	48,4
Lichtstandard in 30 cm Abstand vom Zählrohr	82,6	80,8	83,2	84,2	93,6	91,2	86,4
Lichtstandard in 40 cm Abstand vom Zählrohr	66,0	66,2	67,2	54,2	58,4	63,4	61,6
Natürlicher Effekt	42,4	50,0	47,4	45,6	45,0	47,4	47,2

Abschnitt VI.

Absolute Empfindlichkeit des Zählrohres.

Die Empfindlichkeit des Zählrohres läßt sich abschätzen unter der Annahme, daß bei etwa 2300 ÅE von rund 10^3 Quanten ein Elektron ausgelöst wird[1]). Der natürliche Effekt betrug im Mittel 30 Ausschläge pro Minute; somit war ein sicheres Messen nur dann möglich, wenn die auffallende Strahlung im Mittel mindestens drei Ausschläge pro Minute hervorrief. Das entspricht $3 \cdot 10^3$ Quanten pro Minute. Da die Eintrittsöffnung etwa 5 cm^2 betrug, kann man somit die Empfindlichkeit des Zählrohres zu 600 Quanten cm^{-2} min^{-1} oder 10 Quanten cm^{-2} sec^{-1} angeben.

Wir haben außerdem noch die Empfindlichkeit des Zählrohres experimentell durch die Einwirkung des schwachen Ultravioletttlichtes einer in 10 m Entfernung stehenden Hefner-Kerze bestimmt. Wir fanden, daß bei Vernachlässigung der Reflexionsverluste im Zählrohr noch $8 \cdot 10^{-10}$ erg cm^{-2} sec^{-1} sicher nachgewiesen werden konnten, d. i. die Energie, die eine Hefner-Kerze aus 260 m Entfernung auf die Oberfläche des Zählrohres strahlt. Dabei hatten wir die langwellige Grenze des benutzten Zinkamalgams zu zwischen 3130 ÅE und 3340 ÅE liegend experimentell bestimmt und den

1) B. Gudden, Lichtelektrische Erscheinungen, Berlin 1928, S. 49. R. Suhrmann, Zeitschr. f. Phys., **33**, 63, 1925.

Wert 3130 ÅE als obere Grenze bei der Integration der von Valentiner und Rössiger[1]) angegebenen Formel eingesetzt, welche die von der Hefner-Kerze in einem bestimmten Spektralgebiet emittierte Energie zahlenmäßig zu berechnen gestattet. Tabelle 3 zeigt den Wert des Integrals für die einzelnen Spektralbereiche bei einer Entfernung der Hefner-Kerze von 260 m. Man sieht, daß erst bei $\lambda = 2700$ ÅE das Integral J einen merklichen Beitrag zur Gesamtstrahlung liefert. Nach übereinstimmender Angabe der russischen Forscher kommt aber für den Bereich der mitogenetischen Strahlen ein viel kurzwelligerer Teil des Lichtes, nämlich im Mittel 2300 ÅE in Frage. Die Ausstrahlung der Hefner-Kerze in diesem Gebiet ist jedoch sehr gering. Es wurde daher die Empfindlichkeit des Zählrohres für diesen Bereich nicht experimentell bestimmt, sondern nach Uspensky[2]) berechnet. Es ergab sich, daß das Zählrohr bei Einstrahlung von Licht dieser Wellenlänge noch auf eine Strahlungsintensität von $4 \cdot 10^{-11}$ erg cm^{-2} sec^{-1} reagiert. Das entspricht etwa 5 Quanten cm^{-2} sec^{-1}.

Tabelle 3.

Intensitätsverteilung der Strahlung der Hefner-Kerze nach Valentiner und Rössiger.

Wellenlänge in ÅE	J in cal cm^{-2} sec^{-1}	J in erg cm^{-2} sec^{-1}
1900—2100	$2{,}94 \cdot 10^{-22}$	$1{,}23 \cdot 10^{-14}$
2100—2300	$5{,}39 \cdot 10^{-21}$	$2{,}26 \cdot 10^{-13}$
2300—2500	$6{,}06 \cdot 10^{-20}$	$2{,}54 \cdot 10^{-12}$
2500—2700	$4{,}65 \cdot 10^{-19}$	$1{,}95 \cdot 10^{-11}$
2700—2900	$2{,}65 \cdot 10^{-18}$	$1{,}11 \cdot 10^{-10}$
2900—3130	$1{,}53 \cdot 10^{-17}$	$6{,}40 \cdot 10^{-10}$
1900—3130	$1{,}85 \cdot 10^{-17}$	$7{,}74 \cdot 10^{-10}$

Andere lichtelektrisch empfindliche Substanzen, deren langwellige Grenzen ebenfalls angenähert bestimmt wurden (Aluminium 3500 ÅE, Magnesium 3660 ÅE), sollten dafür Gewähr leisten, daß auch das von Reiter und Gábor angegebene Spektralgebiet der mitogenetischen Strahlen bei 3400 ÅE noch mit dem Zählrohr erfaßt werden konnte. Auch für Aluminium und Magnesium wurden die

1) S. Valentiner u. M. Rössiger, Ann. d. Physik, **76**, 785, 1925.

2) A. W. Uspensky, Zeitschr. f. Phys., **40**, 456, 1928. B. Gudden, a. a. O., S. 30.

Grenzenergie-Bestimmungen mit der Hefner-Kerze ausgeführt und die Empfindlichkeit des Zählrohres für eine Wellenlänge von 2300 ÅE berechnet. Es ergab sich, daß für diese Wellenlänge folgende Strahlungsintensitäten noch nachweisbar waren:

bei Zinkamalgam etwa 5 Quanten $cm^{-2} sec^{-1}$
„ Aluminium „ 30 Quanten $cm^{-2} sec^{-1}$
„ Magnesium „ 50 Quanten $cm^{-2} sec^{-1}$.

Wie man sieht, ist die Übereinstimmung mit der vorhin überschlagmäßig angeführten Zahl recht gut, und man sollte mit Zählrohren, wie sie in der vorliegenden Arbeit verwendet wurden, noch Strahlungsintensitäten von der Größenordnung 10 Quanten $cm^{-2} sec^{-1}$ für eine mittlere Wellenlänge von 2300 ÅE ohne weiteres nachweisen können. Selbstverständlich ist die Empfindlichkeit für die Wellenlänge 3400 ÅE sehr viel geringer. Sie beträgt größenordnungsmäßig 10^3 Quanten $cm^{-2} sec^{-1}$.

Abschnitt VII.

Herstellung der biologischen Präparate.

Es wurden diejenigen Präparate untersucht, die in der Literatur über mitogenetische Strahlen als die wirksamsten gelten:

Brei aus Zwiebelsohlen und Brei aus Zwiebelwurzeln,
Hefekulturen,
ein 8 Tage alter Hühnerembryo,
ein frisch herausgeschnittener Mäusetumor.

Alle diese Präparate wurden im zerstreuten Tageslicht hergestellt und in Petrischälchen geeigneter Größe auf eine Fläche von mindestens 8 cm^2 ausgebreitet. Dabei lagen die Präparate auf feuchter Watte, um eine Austrocknung während des Versuches zu verhindern. Weil außerdem die Vermutung nahelag, daß die mitogenetische Strahlung vielleicht eine Phosphoreszenzerscheinung sei, wurden alle Präparate mit und ohne vorherige Belichtung untersucht. Die Präparate wurden direkt vor dem Quarzfenster des Zählrohres aufgestellt. Nur die Hefekulturen konnten nicht so nahe herangebracht werden, weil sie auf dem Grunde von Petrischälchen wuchsen. Doch war der Abstand Präparatoberfläche—Zählrohrfenster nicht über 2 cm groß.

a) Zwiebelsohlenbrei. Die Sohle wurde aus der Zwiebel herausgeschnitten, zerkleinert und kurz in einer Reibschale mit

wenig Wasser zu einem Brei verrieben. Es wurden sowohl ungekeimte wie verschieden stark angekeimte, und zwar vorjährige wie diesjährige Zwiebeln benutzt. In der Hauptsache waren es Küchenzwiebeln (*Allium cepa*); in zwei Versuchen wurden auch Hyazinthen- und Tulpenzwiebeln verwandt. In einigen Fällen wurde die Zwiebelsohle auch in Scheiben geschnitten vor das Zählrohr gestellt.

b) Brei aus Zwiebelwurzeln. Es wurden Zwiebeln in feuchter Erde angekeimt, die Wurzelspitzen abgeschnitten und zu einem Brei verrieben. In mehreren Fällen wurde Zwiebelsohlenbrei auch mit Zwiebelwurzelbrei vermengt, und das Gemisch untersucht.

c) Hefekulturen. Die Hefen wuchsen auf Bierwürzeagar als Nährboden. Das Alter der Kulturen wurde von 3 Stunden bis zu 25 Tagen variiert.

d) Ein 8 Tage alter Hühnerembryo. Das noch warme Ei wurde nach dem Öffnen sofort untersucht, und zwar zuerst unzerrieben, darauf als Brei.

e) Ein Mäusetumor wurde sofort nach der Exstirpation vor das Zählrohr gebracht, und zwar ebenfalls erst unzerrieben, dann als Brei.

Abschnitt VIII.

Zwiebelsohlenbrei und Zwiebelwurzelbrei.

Meßreihe 1. Zählrohr mit Zinkamalgamschicht.

Subjektive Beobachtung der Ausschläge. Die untersuchten 33 Zwiebeln sind in der Tabelle zusammengefaßt. Die Gesamtbeobachtungsdauer beträgt für jeden der drei Versuche 165 Min.

	Reststrahlung	Reststrahlung + Zwiebelpräparat	
		ohne Belichtung	mit Belichtung
Teilchen pro Minute	32,3	32,4	32,6
Gesamtzahl der beobachteten Teilchen	5323	5349	5381
Mittlerer statistischer Fehler .	$\pm$ 1,4 %	$\pm$ 1,4 %	$\pm$ 1,4 %

Ergebnis: Eine Wirkung der mitogenetischen Strahlen konnte nicht festgestellt werden.

Meßreihe 2. Zählrohr mit Zinkamalgamschicht.

Objektive Beobachtung der Ausschläge (photographische Registrierung auf laufendem Filmstreifen). Es wurden 22 Zwiebeln untersucht, die wieder in der Tabelle zusammengefaßt sind. Die Gesamtbeobachtungsdauer beträgt für jeden der drei Versuche 120 Minuten.

	Reststrahlung	Reststrahlung + Zwiebelpräparat	
		ohne Belichtung	mit Belichtung
Teilchen pro Minute	29,7	29,2	29,9
Gesamtzahl der beobachteten Teilchen	3569	3499	3590
Mittlerer statistischer Fehler .	± 1,7 %	± 1,7 %	± 1,7 %

Ergebnis: Eine Wirkung der mitogenetischen Strahlen konnte nicht festgestellt werden.

Meßreihe 3. Zählrohr mit Aluminiumschicht.

Objektive Beobachtung der Ausschläge (photographische Registrierung). Es wurden 5 Zwiebeln untersucht. Die Gesamtbeobachtungsdauer beträgt für jeden der drei Versuche 30 Minuten.

	Reststrahlung	Reststrahlung + Zwiebelpräparat	
		ohne Belichtung	mit Belichtung
Teilchen pro Minute	26,0	25,4	25,0
Gesamtzahl der beobachteten Teilchen	781	762	751
Mittlerer statistischer Fehler .	± 3,6 %	± 3,6 %	± 3,7 %

Ergebnis: Eine Wirkung der mitogenetischen Strahlen konnte nicht festgestellt werden.

Meßreihe 4. Zählrohr mit Magnesiumschicht.

Objektive Beobachtung der Ausschläge (photographische Registrierung). Es wurden 15 Zwiebeln untersucht. Die Gesamtbeobachtungsdauer beträgt für jeden der drei Versuche 50 Minuten.

	Reststrahlung	Reststrahlung + Zwiebelpräparat	
		ohne Belichtung	mit Belichtung
Teilchen pro Minute	27,0	26,5	26,1
Gesamtzahl der beobachteten Teilchen	1351	1327	1305
Mittlerer statistischer Fehler .	± 2,7 %	± 2,7 %	± 2,8 %

Ergebnis: Eine Wirkung der mitogenetischen Strahlen konnte nicht beobachtet werden.

Abschnitt IX.

Hefekulturen.

Meßreihe 5. Zählrohr mit Zinkamalgamschicht.

Objektive Zählung (photographische Registrierung). Hefekulturen unbelichtet. Es wurden 17 Kulturen untersucht. Die Gesamtbeobachtungsdauer beträgt für jeden der beiden Versuche 109 Minuten.

	Reststrahlung	Reststrahlung + Hefen
Teilchen pro Minute	28,9	29,2
Gesamtzahl der beobachteten Teilchen .	3145	3181
Mittlerer statistischer Fehler	± 1,8 %	± 1,8 %

Ergebnis: Eine Wirkung der mitogenetischen Strahlen konnte nicht beobachtet werden.

Meßreihe 6. Zählrohr mit Zinkamalgamschicht.

Objektive Zählung (photographische Registrierung). Hefekulturen belichtet. Es wurden 29 Kulturen untersucht. Die Gesamtbeobachtungsdauer beträgt für jeden der beiden Versuche 196 Minuten.

	Reststrahlung	Reststrahlung + Hefen
Teilchen pro Minute	29,2	29,4
Gesamtzahl der beobachteten Teilchen .	5739	5765
Mittlerer statistischer Fehler	± 1,3 %	± 1,3 %

Ergebnis: Eine Wirkung der mitogenetischen Strahlen konnte nicht festgestellt werden.

Es gibt in den Arbeiten über mitogenetische Strahlen einige Behauptungen [Baron[1]) u. a.], daß die Aktivität der Hefekulturen in den ersten Stunden nach der Impfung am stärksten sei. Zur Nachprüfung dieser Angaben wurden solche junge Hefekulturen im Alter von 3, 6, 9 und 12 Stunden untersucht:

1) M. Baron, Planta, **10**, 28, 1930.

Meßreihe 7. Zählrohr mit Zinkamalgamschicht.

Objektive Zählung (photographische Registrierung). Zahl der Hefekulturen: 5, unbelichtet. Gesamtbeobachtungsdauer für jeden der beiden Versuche 147 Minuten.

	Reststrahlung	Reststrahlung + Hefen
Teilchen pro Minute	25,5	25,2
Gesamtzahl der beobachteten Teilchen .	3756	3705
Mittlerer statistischer Fehler	± 1,6 %	± 1,6 %

Ergebnis: Eine Wirkung der mitogenetischen Strahlen konnte nicht beobachtet werden.

Abschnitt X.

Hühnerembryo und Mäusetumor.

Meßreihe 8. Zählrohr mit Zinkamalgamschicht.

8 Tage alter Hühnerembryo. Objektive Zählung (photographische Registrierung). Beobachtungsdauer für jeden der drei Versuche 20 Minuten.

	Reststrahlung	Reststrahlung + Embryo	
		ohne Belichtung	mit Belichtung
Teilchen pro Minute	23,2	23,9	23,3
Gesamtzahl der beobachteten Teilchen	463	478	466
Mittlerer statistischer Fehler .	± 4,6 %	± 4,6 %	± 4,6 %

Meßreihe 9. Zählrohr mit Zinkamalgamschicht.

Frisch exstirpierter Mäusetumor. Objektive Zählung (photographische Registrierung). Beobachtungsdauer für jeden der drei Versuche 30 Minuten.

	Reststrahlung	Reststrahlung + Tumor	
		ohne Belichtung	mit Belichtung
Teilchen pro Minute	40,0	40,5	41,2
Gesamtzahl der beobachteten Teilchen	1200	1214	1242
Mittlerer statistischer Fehler .	± 2,9 %	± 2,9 %	± 2,8 %

Ergebnis: Eine Wirkung der mitogenetischen Strahlen konnte bei beiden Präparaten nicht festgestellt werden.

Abschnitt XI.

Zusammenfassung der Ergebnisse.

Die vorliegende Arbeit hatte zum Ziel, die sogenannte mitogenetische Strahlung mit einem lichtelektrisch wirksamen Geiger-Müller-Zählrohr nachzuweisen.

Das Zählrohr hatte auf der Innenseite einen Belag von Zinkamalgam, Aluminium oder Magnesium und war an einem Ende zum Einlaß der Strahlen mit einem Quarzfenster abgeschlossen. Mit diesem Zählrohr konnten bei Wellenlängen von etwa 2300 ÅE noch größenordnungsmäßig 10 eintretende Quanten $cm^{-2}\,sec^{-1}$ und bei 3400 ÅE noch 10^3 eintretende Quanten $cm^{-2}\,sec^{-1}$ nachgewiesen werden.

Alle Versuche an biologischen Präparaten (*Allium cepa*, Hefekulturen, Hühnerembryo, Mäusetumor) sind negativ verlaufen.

Es wird der Schluß gezogen, daß die mitogenetische Strahlung, wenn sie überhaupt eine Ultraviolettstrahlung im Bereich von 2000—2600 ÅE ist, jedenfalls eine Intensität besitzen muß, die bei unserer Anordnung kleiner ist als die Größenordnung 10 Quanten $cm^{-2}\,sec^{-1}$, also 100mal kleiner, als von Gurwitsch angegeben worden ist.

Gleichartige Versuche von Rajewsky haben einen, wenn auch sehr kleinen, so doch positiven Effekt ergeben. Das von ihm veröffentlichte Zahlenmaterial erscheint uns jedoch nicht ausreichend, um den physikalischen Nachweis der mitogenetischen Strahlen als sicher erbracht anzusehen. Wir neigen vielmehr zu der Ansicht, daß auch seine Versuche nur den Schluß zulassen, daß die mitogenetische Strahlung — als Ultraviolettstrahlung — eine mindestens 100mal geringere Intensität haben muß, als von Gurwitsch angegeben.

Der von Reiter und Gábor angegebene Spektralbereich um 3400 ÅE konnte ebenfalls mit unseren mit Magnesium präparierten Zählrohren erfaßt werden. Auch hier ließ sich ein positiver Effekt nicht feststellen. Es wird der Schluß gezogen, daß die Intensität der mitogenetischen Strahlung — falls sie eine Ultraviolettstrahlung im Gebiet 3340—3400 ÅE ist — bei unserer Anordnung kleiner sein muß als 1000 Quanten $cm^{-2}\,sec^{-1}$.

Vorliegende Arbeit wurde ausgeführt im Physikalischen Institut der Universität Tübingen. Ein Teil der pflanzlichen Präparate (Hefekulturen) wurde im Botanischen Institut der Universität freundlicherweise von Herrn cand. rer. nat. W. Maier hergestellt. Die tierischen Präparate wurden mir in liebenswürdiger Weise vom Anatomisch-Pathologischen Institut der Universität geliefert. Herrn Professor Dr. H. Geiger danke ich herzlich für die Anregung zu dieser Arbeit und sein stets förderndes Interesse. Von den Herren Professoren Dr. E. Lehmann (Botanisches Institut) und Dr. A. Dietrich (Anatomisch-Pathologisches Institut) empfing ich viele nützliche Ratschläge, wofür ich ihnen zu bestem Dank verbunden bin. Auch Herrn Dr. H. Fesefeldt bin ich für seine rege Anteilnahme sehr dankbar.

Lebenslauf

Am 14. März 1908 wurde ich, Eduard Kurt Franz Seyfert, in Merseburg a. S. als Sohn des Prokuristen Oskar Seyfert und seiner Ehefrau Anna geb. Gaudig geboren. Ich besuchte zuerst 3 Jahre lang die Gehobene Knabenmittelschule in Merseburg und absolvierte sodann das neunstufige Staatliche Domgymnasium zu Merseburg, welches ich zu Ostern 1926 mit dem Zeugnis der Reife verließ. Anschließend widmete ich mich an den Universitäten Halle, Wien, Innsbruck, Kiel und Tübingen dem Studium der Physik, Mathematik, Biologie und der Leibesübungen.